

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 614 023** ⁽¹³⁾ **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G01N 23/207 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 07.03.2019)
Пошлина: учтена за 3 год с 06.11.2017 по 05.11.2018

(21)(22) Заявка: [2015147576](#), 05.11.2015(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.11.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **05.11.2015**(45) Опубликовано: [22.03.2017](#) Бюл. № [9](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1719458A1, 15.03.1992. RU
2122200C1, 20.11.1998. RU 2425167C2,
27.07.2011. RU 2049990C1, 10.12.1995. JPH
0989819A, 04.04.1997. US 4715053A,
22.12.1987.

Адрес для переписки:

**620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
УрФУ, центр интеллектуальной
собственности, Маркс Татьяна
Владимировне**

(72) Автор(ы):

**Демаков Сергей Леонидович (RU),
Нарыгина Ирина Вячеславовна (RU),
Гадеев Дмитрий Вадимович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

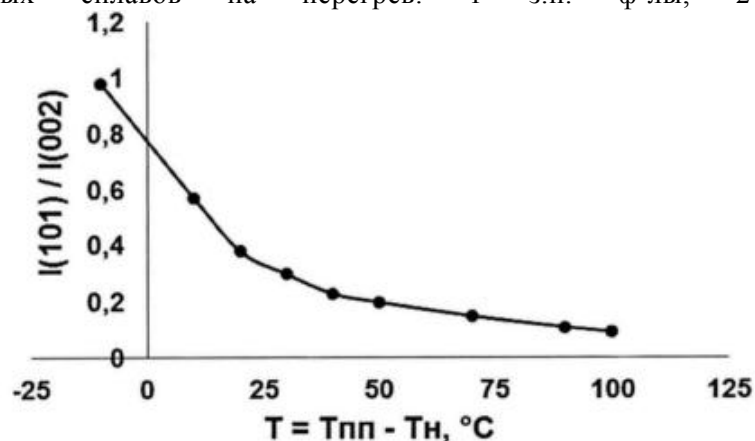
**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)**

**(54) СПОСОБ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ
ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ НА ПЕРЕГРЕВ МЕТОДОМ
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА**

(57) Реферат:

Использование: для неразрушающего контроля термодиформационной обработки полуфабрикатов из двухфазных титановых сплавов на перегрев. Сущность изобретения заключается в том, что выбирают место контроля и строят градуировочную кривую для каждого вида полуфабрикатов, получают дифракционный спектр методом рентгеновской съемки и выполняют обработку результатов для каждого контролируемого полуфабриката, причем в качестве места контроля выбирают деформированный во время последней операции термодиформационной обработки участок поверхности с преимущественным течением материала параллельно поверхности со степенью деформации не менее 10% и не более 50% с удаленным газонасыщенным слоем, в качестве градуировочной кривой используют зависимость соотношения интенсивностей дифракционных линий α -фазы $L_1=(101)$ или $L_1=(110)$ и $L_2=(002)$ от температуры T (T - разность температуры полного полиморфного превращения ($T_{пп}$) и температуры нагрева под деформацию (T_H)), а о перегреве вышезаданной технологией температуры судят по значению

отношения интенсивностей дифракционных линий L_1 и L_2 выше, чем на градуировочной кривой для верхнего предела диапазона температур нагрева. Технический результат: обеспечение возможности неразрушающего экспресс-контроля термдеформационной обработки полуфабрикатов из двухфазных титановых сплавов на перегрев. 1 з.п. ф-лы, 2 ил., 2 табл.



$I(HKL)$ – интенсивность дифракционной линии с индексами HKL α -фазы

$T_{пп}$ – температура полного полиморфного превращения плавки сплава, $^\circ\text{C}$

T_n – температура деформации, $^\circ\text{C}$

Фиг. 2

Себестоимость изготовления изделий сложной формы из двухфазных титановых сплавов часто определяется затратами на проведение операций механической обработки, например вытачивания, тогда как затраты на проведение термомеханической обработки полуфабрикатов незначительны. Подобная термомеханическая обработка часто проводится в верхнем интервале двухфазной $\alpha+\beta$ -области, где возможные перегревы полуфабриката в процессе нагрева под деформацию выше температуры полного полиморфного превращения ($T_{пп}$) являются недопустимыми и приводят к получению неисправимого брака. В связи с этим существует потребность в неразрушающих методах контроля качества термомеханической обработки на перегрев выше $T_{пп}$, позволяющих на ранних стадиях определить наличие перегрева и, таким образом, не проводить дальнейшие дорогостоящие операции на бракованном полуфабрикате (партии полуфабрикатов).

Примером такого случая может служить процесс изготовления лопаток газотурбинного двигателя, где затраты на вытачивание лопаток многократно превышают стоимость штамповки.

В настоящее время контроль полуфабрикатов на перегрев выше $T_{пп}$ осуществляется выборочно с помощью металлографического контроля [1, 2], который является разрушающим методом контроля. Кроме того, данный метод контроля является высокотрудоемким и длительным и не исключает ошибок, связанных с субъективной оценкой структуры полуфабриката.

Технической задачей предлагаемого изобретения является реализация возможности неразрушающего экспресс-контроля термдеформационной обработки полуфабрикатов из двухфазных титановых сплавов на перегрев.

Для решения указанной технической задачи предложено следующее:

1. Способ неразрушающего контроля термдеформационной обработки полуфабрикатов из двухфазных титановых сплавов на перегрев методом рентгеноструктурного анализа, включающий выбор места контроля и построение градуировочной кривой для каждого вида полуфабрикатов, получение дифракционного спектра методом рентгеновской съемки и обработку результатов для каждого контролируемого полуфабриката, причем в качестве места контроля выбирают деформированный во время последней операции термдеформационной обработки участок поверхности с преимущественным течением материала параллельно поверхности со степенью деформации не менее 10% и не более 50% с удаленным газонасыщенным слоем, в качестве градуировочной кривой используют зависимость соотношения интенсивностей дифракционных линий α -фазы $L_1=(101)$ или $L_1=(110)$ и $L_2=(002)$ от температуры T (T - разность температуры полного

полиморфного превращения ($T_{пп}$) и температуры нагрева под деформацию (T_H)), а о перегреве выше заданной технологией температуры судят по значению отношения интенсивностей дифракционных линий L_1 и L_2 выше, чем на градуировочной кривой для верхнего предела диапазона температур нагрева.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что полуфабрикаты, подвергаемые контролю, изготовлены из двухфазных титановых сплавов, содержащих более 5 мас. % алюминия.

Предлагаемый способ базируется на том факте, что в процессе высокотемпературной термомеханической обработки изменяется текстурное состояние первичной α -фазы и β -фазы. Во время дальнейшего охлаждения полуфабрикатов и/или старения происходит выделение вторичной α -фазы с отличающимся от первичной α -фазы текстурным состоянием. При различных температурах нагрева термомеханической обработки изменяется соотношение долей первичной и вторичной α -фаз, что предлагается фиксировать методом рентгеноструктурного экспресс-анализа по соотношению интенсивностей двух дифракционных линий, одна из которых формируется преимущественно от областей первичной α -фазы, например линия (00.2), а другая - от областей вторичной фазы, например линия (10.1) либо (11.0).

Пример

Это техническое решение подтверждено на примере исследования трех партий полуфабрикатов, предназначенных для изготовления лопаток газотурбинного двигателя, изготовленных из трех различных плавок титанового сплава BT8M (фиг. 1). Температуры $T_{пп}$ плавок, из которых были изготовлены полуфабрикаты, представлены в таблице 1.

Термомеханическая обработка, требующая контроля на перегрев, проводилась в промышленных условиях и включала нагрев в термической печи и штамповку. После операции штамповки полуфабрикаты охлаждались на воздухе.

Построение градуировочной кривой производилось на полуфабрикатах из плавки 1 для температур нагрева в интервале 880...990°C. В качестве места рентгеновской съемки была выбрана полусередина на полувысоте пера лопатки со стороны спинки (фиг. 1, показано окружностью).

Таблица 1. Характеристики исследованных плавок

Условное обозначение партии и плавки	Температура полного полиморфного превращения ($T_{пп}$), °C
1	980
2	973
3	978

После охлаждения механическим способом проводилось удаление газонасыщенного (альфированного) слоя и производилась рентгеновская съемка интенсивностей дифракционных линий $L_1=(101)$ и $L_2=(002)$ α -фазы. В результате по данным, полученным на плавке 1, была построена градуировочная кривая, показанная на фиг. 2, где на оси абсцисс T - разность между температурой $T_{пп}$ плавки и температурой нагрева, а на оси ординат - отношения интенсивностей дифракционных линий L_1 и L_2 .

Проверка полученной градуировочной кривой проводилась на партиях 2 и 3 при температурах нагрева под штамповку $(T_{пп}-10)^\circ\text{C}$ и $(T_{пп}+10)^\circ\text{C}$, где $T_{пп}$ - температура полного полиморфного превращения соответствующей плавки сплава в соответствии с таблицей 1. Полученные значения отношений интенсивностей дифракционных линий L_1 и L_2 на данных полуфабрикатах приведены в таблице 2.

В соответствии с полученной градуировочной кривой все полуфабрикаты для изготовления лопаток из сплава BT8M, на которых после охлаждения с температуры штамповки зафиксировано соотношение дифракционных линий L_1 и L_2 более 0,75, являются перегретыми выше температуры $T_{пп}$, т.е. являются бракованными.

Таким образом, полуфабрикаты из партий 2 и 3, на которых зафиксировано отношения интенсивностей линий L_1 и L_2 0,93 и 0,95 соответственно, в процессе

нагрева под штамповку были перегреты выше $T_{пп}$, что полностью соответствует используемым температурам нагрева (983 и 988°C соответственно).

Таблица 2. Характеристики исследованных плавок

Условное обозначение партии и плавки	Температура нагрева под штамповку		Отношение интенсивностей дифракционных линий L_1 и L_2
	относительная	абсолютная, °C	
2	$T_{пп} - 10$	963	0,53
3		968	0,55
2	$T_{пп} + 10$	983	0,93
3		988	0,95

Технический результат: неразрушающий метод экспресс-контроля качества термдеформационной обработки на перегрев, позволяющий осуществлять стопроцентный контроль полуфабрикатов. При использовании современных позиционно чувствительных детекторов рентгеновского излучения метод позволяет осуществлять съемку для контроля за время не выше 10 секунд.

Источники информации

1. ОСТ 1 90006-86. Заготовки из титановых сплавов для изготовления лопаток.

Технические требования.

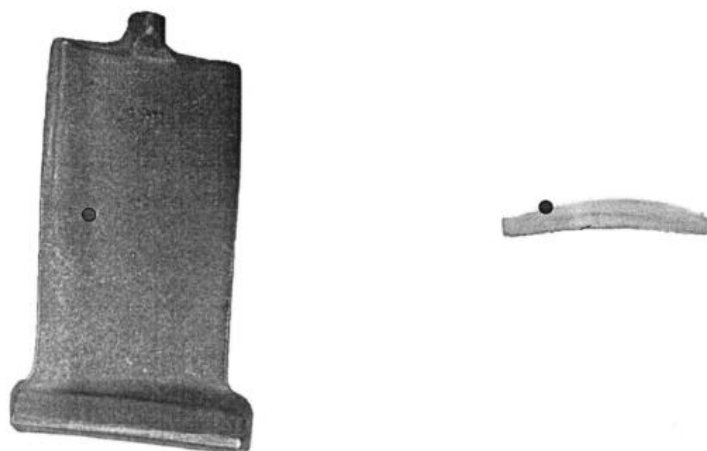
2. ОСТ 1 90002-86. Лопатки штампованные из титановых сплавов.

Формула изобретения

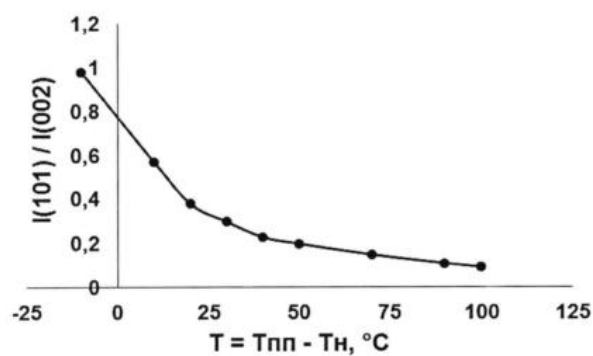
1. Способ неразрушающего контроля термдеформационной обработки полуфабрикатов из двухфазных титановых сплавов на перегрев методом рентгеноструктурного анализа, включающий выбор места контроля и построение градуировочной кривой для каждого вида полуфабрикатов, получение дифракционного спектра методом рентгеновской съемки и обработку результатов для каждого контролируемого полуфабриката, причем в качестве места контроля выбирают деформированный во время последней операции термдеформационной обработки участок поверхности с преимущественным течением материала параллельно поверхности со степенью деформации не менее 10% и не более 50% с удаленным газонасыщенным слоем, в качестве градуировочной кривой используют зависимость соотношения интенсивностей дифракционных линий α -фазы $L_1=(101)$ или $L_1=(110)$ и $L_2=(002)$ от температуры T (T - разность температуры полного полиморфного превращения ($T_{пп}$) и температуры нагрева под деформацию (T_n)), а о перегреве вышезаданной технологией температуры судят по значению отношения интенсивностей дифракционных линий L_1 и L_2 выше, чем на градуировочной кривой для верхнего предела диапазона температур нагрева.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что полуфабрикаты, подвергаемые контролю, изготовлены из двухфазных титановых сплавов, содержащих более 5 мас. % алюминия.

**СПОСОБ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ
НА ПЕРЕГРЕВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА**



Фиг 1



$I(\text{HKL})$ – интенсивность дифракционной линии с индексами HKL α -фазы

$T_{пп}$ – температура полного полиморфного превращения плавки сплава, $^\circ\text{C}$

T_n – температура деформации, $^\circ\text{C}$

Фиг 2